

Biogas fra forskellige græsmaterialer

Delundersøgelse i Bio Power projektet

Tyge Kjær

Roskilde Universitet

Den 12. august 2025.

1. Introduktion

Formålet er at belyse gasudbyttet fra forskellige typer af biomasse, herunder græs, i sammenligning med andre biomassetyper ved en samlet oversigt over, hvordan man kan vurdere gasudbytterne for de forskellige biomassefraktioner.

Baggrund: Der er store forventninger om en øget anvendelse af græs, både græs fra eksisterende områder og de nye områder, som forventes udlagt til ekstensiv drift som følge af bl.a. Den grønne Trepartsaftale, hvor græs kommet på dagsordenen med fokus på bl.a. bioraffinering af græs til produkter og biogas.¹

2. Biogasudbytte - metanudbytte

Nedenstående tabel viser gasudbytte for udvalgte fraktioner – forskellige græsfraktioner i sammenligning med andre biomassefraktioner. Et biogasanlæg producerer både metan og CO₂. I det følgende er der især fokus på metanproduktionen.

Tabel 1. Sammenligning af gasudbytte for biomassetyper (tang, affaldsgræs, græsafrøder) ved sammenligning af tørstof, organisk tørstof og forventet gasudbytte (se senere specifikationer og kilder)

	Søjle 1	Søjle 2	Søjle 3	Søjle 4	Søjle 5	Søjle 6	Søjle 7
Råvare input:	Mængde tons	Tørstof indhold i procent	Organisk tørstof i procent	Organisk tørstof i tons	Methan potentiale m ³ /tons	Forventet biogas produktion ren metan m ³	CO ₂ fra opgradering CO ₂ i m ³
Tang							
Tang fra strand:	1.000	33,0%	61,2%	202,0	194,1	39.200	32.073
Tang fra vandkant:	1.000	33,0%	71,5%	236,0	204,2	48.169	39.411
Tang (Solrød Biogas):	1.000	38,8%	67,7%	262,7	45,0	11.820	9.671
Affaldsgræs forskellige typer							
Naturareal, tidlig høst (forår):	1.000	25,0%	85,0%	212,5	265,0	56.313	46.074
Naturareal, sen høst (efterår):	1.000	60,0%	85,0%	510,0	265,0	135.150	110.577
Vejgræs:	1.000	31,0%	82,0%	254,2	200,5	50.967	41.700
Forskellige afgrøder							
Frøgræshalm:	1.000	90,0%	95,0%	855,0	250,0	213.750	174.886
Slætgræs (gennemsnit 1-3):	1.000	34,0%	95,0%	323,0	313,2	101.164	82.770
Halm, tør direkte tilført:	1.000	90,0%	95,0%	855,0	240,0	205.200	167.891
Sum	6.000,0 tons			3.009,7 tons		762.543	623.899
Gasudbyttet omregnet til energienheden MWh:						7.579,7	MWh

¹⁾ Se det nye fokus hos Ekspertudvalget for kaskadeudnyttelse: **Overordnet vision og anbefalinger for kaskadeudnyttelse i den grønne omstilling – med fokus på bioressourcer fra landbrugsafgrøder og skovbrug.** Ekspertudvalg under Den grønne Trepert. Maj 2025, hvor der bl.a. peges på en øget udnyttelse af græs til produkter og biogas, bl.a. ved omlægning af lavbundsområder.



Power Bio



Co-funded by the European Union



Metanudbyttet fra en given biomasse afhænger af en række forhold, nemlig biomassens tørstofindhold, organisk tørstofniveau og metan potentialet; hvor metanudbyttet også afhænger af en eventuel forbehandling og af udrådningstiden (biomassens opholdstid i biogas reaktoren). For at kunne bestemme en given biomasses potentiel gasudbytte er det nødvendigt med en række betragtninger og beregninger, Disse sammenhænge skal belyses nærmere med udgangspunkt i tabel 1 og de syv kolonne, de syv søjler.

Tørstofniveauet: En given biomasse (*søjle 1*) må omregnes til tørstof; her angivet i tons. Her er der stor forskel for de forskellige biomasser - fra 33% til 90% (*søjle 2*). Vand giver ingen biogas, så det skal vi have fraregnet.

Organisk tørstofniveau: Ikke al tørstof bidrager til metanproduktionen. Ligesom vand skal vi have fraregnet den ikke-organiske tørstof mængde (bl.a. nitrogen, fosfor, kalium, osv). Den må fraregnes ved at omregne tørstofften til organisk tørstof med den organiske tørstofprocenter, der er angivet i *søjle 3*.

Organisk tørstof: Nu kan vi beregne den organiske tørstofmængde (*søjle 4*), som er udgangspunktet for biogasproduktionen.

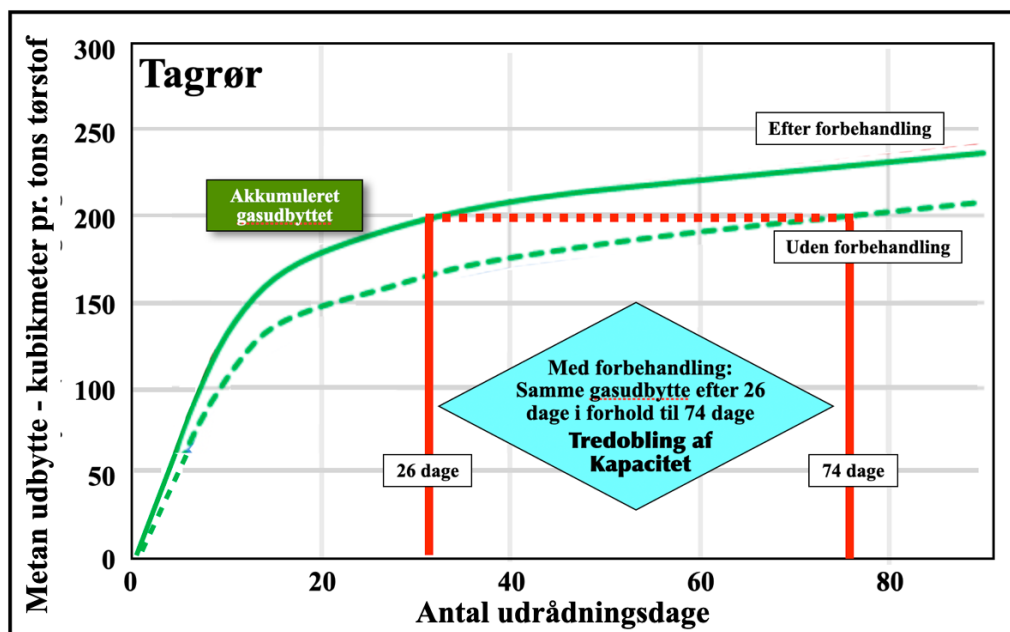
Biogasproduktionen: Hvor meget gas kan man regne med? I *søjle 5* er det angivet som m³ metan pr. tons organisk tørstof. Denne faktor (metanudbyttet pr. vægt mængde) er typisk den, der angives som en standard for metanudbyttet. I *søjle 6* kan man dernæst beregne det forventede gasudbytte.

Ved at kende et organiske tørstofindhold (*søjle 4*) og den forventede metanudbytte (*søjle 5*) kan vi 'teoretisk' estimere metanmængden. Der er imidlertid to forhold, som kan spille afgørende ind på metanudbyttet, nemlig biomassens opholdstid i biogasanlægget og en mulig forbehandling af biomassen.

3. Gasudbytte og opholdstiden

Gasudbyttet afhænger af biomassens opholdstid i biogasanlægget. Der er her to tendenser: På den *ene side* kan det være en fordel at forlænge opholdstiden, hvis der stadig er et rest metanpotentiale i den tilførte biomasse. På den *anden side* kan det være en fordel med kortest mulig opholdstid, fordi det forøger udnyttelsen af anlæggets kapacitet. Problemstillingen skal belyse med udgangspunkt i nedentående figur.

Figur 1. Gasudbytter med og uden forbehandling, illustreret med udrådning af tagrør.



De to kurver viser det akkumulerede metanudbytte over tid. Med figuren kan vi sammenligne to situationer: **(1) Uden forbehandling** er gasudbyttet på 200 m³ metan pr. tons biomasse efter 74 dage. **(2) Med forbehandling** vil et gasudbytte på 200 m³ metan pr. tons allerede kunne opnås efter 26 dage. Efter 74 dage vil gasudbyttet med det forbehandlede materiale give ca. 230 m³ metan pr. tons biomasse. Eksemplet viser, at vi ved oplysninger om metanudbyttet nødvendigvis også samtidigt skal have oplysninger udrådningstid.

Biomassens opholdstid og gasudbytte er meget afgørende for den samlede metanproduktion pr. år for et givet biogasanlæg. Det kan belyses med nedenstående oversigt, hvor der er forudsat, at anlægget har en bioreaktor kapacitet på 10.000 m³; dvs. der kan behandles 10.000 m³ biomaterialet ad gangen i den valgte opholdstid.

Tabel 2. Årsproduktion: Gasudbytte på et givet anlæg med en reaktor kapacitet på 10.000 m³: Biomasse uden forbehandling med et opholdstid på 74 dage, og biomasse med forbehandling og en opholdstid på 26 dage. Illustreret med udrådning af tagrør.²

Materiale input:						
	Mængde tons	Tørstof indhold i procent	Organisk tørstof i procent	Tørstof mængde tons	Methan potentiale m ³ /tons	Biogas- produktion metan m ³
1) Uden forbehandling - opholdstid på 74 dage						
Tørstof i biogas reaktoren: 12,1%						
Svine- og kvæggylle	43.256	3,0%	80,0%	1.038	180,0	186.867
Tagrør	17.304	35,0%	85,0%	5.148	200,0	1.029.588
Råvarer i alt	60.560	-	-	Samlet gasudbytte:		1.216.455
2) Med forbehandling - opholdstid på 26 dage						
Tørstof i biogas reaktoren: 12,1%						
Svine- og kvæggylle	121.118	3,0%	80,0%	2.907	180,0	523.228
Tagrør	48.451	35,0%	85,0%	14.414	200,0	2.882.846
Råvarer i alt	169.569	-	-	Samlet gasudbytte:		3.406.075

Tabellen viser et betydeligt større årsudbytte ved en afkortning af opholdstiden til 26 døgn, hvis man gennem forbehandlingen kan opnå samme gasudbytte, nemlig de **200 m³** pr. tons tilført råvare på den kortere tid (jvf. oversigten i figur 1). Anlæggets merudbytte er forøget med 180%. Om forbehandlingen er en god økonomisk ide afhænger af råvareprisen, forbehandlingsomkostninger og anlæggets driftsomkostninger.

Tabellen skal bruges til at belyse to vigtige forhold:

- (1) **Metan potentiale:** Når vi taler om en given biomasses metanpotentiale er det nødvendigt at være opmærksom på opholdstiden. Over hvor lang tid kan vi opnå den og den gasmængde. Forbehandlingen vil typisk øge udrådningshastighed

²⁾ For at gøre de to alternative sammenlignelige er der i begge tilfælde forudsat en tørstofprocent i biogasreaktoren på 12%, som opnås ved sammensætningen af tabellens to råvarer. Ved forsøg kan vi let fastlægge biogasudbyttet, akkumuleret gasmængde over så og så mange dage giver det og det gasudbytte. I et biogasanlæg er situationen ét lidt anden. Hvis man f.eks. driver anlægget med en gennemsnitlig opholdstid på f.eks. 26 døgn, så skal man løbende daglig indpumpe 1/26 biomasse og udpumpe en tilsvarende 1/26 af biomassen. Effektive omrøringsystem kan forhindre døde zoner og bidrager til en jævn fordeling af biomassen. Ved udpumpningen kan man imidlertid ikke 100% garantere en opholdstid på præcis de 26 døgn. Noget af biomassen bliver pumpe ud før de 26 døgn - har altså en kortere opholdstid, medens en tilsvarende del af biomasse har længere opholdstid. Generelle estimater siger, at ca. 60-70% af den tilførte biomasse har en opholdstid, der svarer til indpumpningen; medens den resterende del har enten kortere eller længere opholdstid. Begge dele reducerer det forventede gasudbytte, jvf. udrådningskurven i figur 1. Denne sammenhæng betyder, at der ikke nødvendigvis er en simpel sammenhæng mellem udbytte af biogas konstateret i forsøg og så faktiske udbytte på et biogasanlæg.

- biogassen kommer hurtigere - men den samlede biogas mængde for en given råvare forøges kun i begrænset omfang (se efterfølgende tabel).

(2) **Forbehandling:** De 'besværlige' har lange udrådningsforløb; det gælder f.eks. græs og halm. Forbehandling (termisk, mekanisk, kemisk) bidrager til en øget udrådningshastighed. Biogassen kommer hurtigere og bidrager over kortere tid til en mere fuldstændig udnyttelse af metanpotentialt.

4. Estimerede biogas produktion - metan potentialt

Dette afsnit skal belyse metanpotentialerne for de respektive kilder, modsvarende, men dog udbygget i forhold til tabel 1. Formålet er at give et overblik og kilder til tallene.

Tabel 3. Gasudbytte for de forskellige råvare: dels for faktisk produktion i Danmark og estimer for de forskellige biomasse fraktioner.

Råvare input:	Søjle 1	Søjle 2	Søjle 3	Søjle 4	Søjle 5	Søjle 6	Søjle 7	Kilder
	Mængde tons	Tørstof indhold procent	Organisk tørstof procent	Organisk tørstof i tons	Methan potentiale m3/tons	Forventet produktion metan m3	Metan produktion m3 pr. tons	Se henvisning i noten
Hele Landet - indberettet biogas udbytte								
1) Biogasproduktion - produktionstal:								
Danmark totalt (2021-22)	15.816.555	—	—	—	—	706.367.346	44,7	[1]
Gylle - DK totalt:	10.389.845	—	—	—	—	138.164.194	13,3	[1]
Halm og lign. DK totalt:	314.492	—	—	—	—	66.100.839	210,2	[1]
Energiafgrød. DK totalt:	833.029	—	—	—	—	82.543.515	99,1	[1]
Madaffald. DK totalt:	543.842	—	—	—	—	40.453.677	74,4	[1]
Industriaffald. DK totalt:	1.978.471	—	—	—	—	197.290.963	99,7	[1]
Glycerin. DK totalt:	240.410	—	—	—	—	84.816.512	352,8	[1]
Udrådningsforsøg o.lign.								
2) Estimer for tangmateriale								
Tang fra strand:	1.000	33,0%	61,2%	202,0	194,1	39.200	39,2	[2]
Tang fra vandkant:	1.000	33,0%	71,5%	236,0	204,2	48.169	48,2	[2]
Tang (Solrød biogas):	1.000	38,8%	67,7%	262,7	45,0	11.820	11,8	[2]
3) Slætgræs - intensivt dyrket græs (typisk til foder):								
Slætgræs - 2 slæt:	1.000	34,5%	93,3%	322,0	260,3	83.790	83,8	[3]
Slætgræs - 3 slæt:	1.000	34,5%	92,2%	318,0	317,3	100.914	100,9	[3]
Slætgræs (gennemsnit 1-3):	1.000	34,0%	95,0%	323,0	313,2	101.164	101,2	[3]
4) Miljøgræs, forskellige typer:								
Naturarealer, tidlig høst (forår):	1.000	25,0%	85,0%	212,5	265,0	56.313	56,3	[4]
Naturarealer, sen høst (efterrår):	1.000	60,0%	85,0%	510,0	265,0	135.150	135,2	[4]
Engrapgræs med hammermølle:	1.000	35,0%	92,0%	322,0	462,3	148.861	148,9	[5]
Frøgræshalm, ubehandlet:	1.000	90,0%	95,0%	855,0	250,0	213.750	213,8	[4]
Frøgræshalm, forbehandlet:	1.000	90,0%	95,0%	855,0	265,0	226.575	226,6	[4]
Vejgræs:	1.000	31,0%	82,0%	254,2	200,5	50.967	51,0	[6]
5) Behandlet/ubehandlet halm afgrøder:								
Halm, tør direkte:	1.000	90,0%	95,0%	855,0	240,0	205.200	205,2	[4]
Halm, tør, forbehandlet:	1.000	90,0%	95,0%	855,0	260,0	222.300	222,3	[4]
Halm, våd, direkte:	1.000	70,0%	95,0%	665,0	220,0	146.300	146,3	[4]
Halm, våd forbehandlet:	1.000	70,0%	95,0%	665,0	240,0	159.600	159,6	[4]
Halm, med hammermølle:	1.000	90,0%	95,0%	855,0	445,4	380.817	380,8	[5]
6) Andre afgrøder:								
Roetopper:	1.000	13,3%	86,5%	115,0	350,0	40.266	40,3	[7]
Ensilage af halm/roetoppe:	1.000	27,6%	88,6%	244,5	335,0	81.920	81,9	[7]
Efterafgrøder:	1.000	90,0%	95,0%	855,0	265,0	226.575	226,6	[4]

Hele Danmark: Tabellen består af to dele. Den første del viser de faktiske produktionstal for de danske biogasanlæg i 2021-22 (1/8-2021 - 31/7-2022). Tabellen viser, at der i regnskabsåret er brugt 15,8 mio. tons råvarer, som har givet 706,4 mio. m³ metan. Det svarer til en gennemsnitligt metanproduktion pr. tilført tons råvare på 44,7 m³ pr. tons.³

³⁾ **Biogasproduktion - biomasser og udbytter.** Energistyrelsen, den 19. juni 2024. Det bemærkes, at mellemregningerne (tørstof, organisk tørstof, biogaspotentialt) ikke findes oplyst i rapporten.

Der har år for år været en almindelig fremgang i biogasudbyttet pr. tilført tons. Tallet var fem år tilbage) på **33,7 m³** pr. tons (driftsåret 2016-17). I perioden over de 5 år er der således sket en stigning i det gennemsnitlige gasudbytte på **32,7%**.

Udrådningsforsøg: Tabellens anden del består af data fra en række udvalgte biomasser. Metanpotentialet i søjle 5 vil selvfølgelig i meget høj grad afhænge af udrådningstiden (opholdstiden); den er dog ikke oplyst i alle tilfælde. Se data-kilderne nedenfor.⁴

Estimer for tangmateriale: Der er lavet et stort antal udrådningsforsøg. Her præsenteres én af de seneste. Forsøg viser et metan udbytte på 194 m³/tons organisk tørstof for tang fra stranden, medens den tilsvarende metanudbytte for tang, indsamlet ude i vandet, er på 204 m³/tons organisk tørstof. Forsøgsperioden var på 35 døgn, men ca. 90% af metanproduktionen var allerede produceret efter 20 døgn.

For den tang, der er leveret til Solrød Biogas A/S, har estimer vist et noget lavere gasudbytte, hvor metanudbyttet estimeres helt ned til 45 m³/tons organisk tørstof. Det vurderes dog, at den angivelse må være i underkanten under henvisning til en række forsøg med udrådning af tang,

Slætgræs - intensivt dyrket græs (foder): Slætgræs bruges normalt til foder, hvor man tager 4-5 slæt græs (slæt: høst) for at opnå en høj foderkvalitet. Hvis græsset skal anvendes i biogas anlæg vil det være en fordel med færre slæt. Tabellen viser, at man med tre slæt opnå et større metanudbytte pr. tons organisk tørstof, nemlig 317 m³ mod 260 m³ metan ved to slæt. Tidspunkterne for to og tre slæt er følgende: Ved to slæt er tidspunktet typisk: juni og oktober. Ved tre slæt er tidspunktet: maj, august og oktober.

⁴)Tabellens kilder er følgende:

- [1] **Biogasproduktion - biomasser og udbytter.** Energistyrelsen, den 19. juni 2024.
- [2] **Coastal Biogas: A report on Energy Recovery from Anaerobic Digestion.** Tyge Kjær & Nanna Skov Larsen. RUC, december 2021, s. 12-15. Estimatet af det lave gasudbytte på Solrød Biogas A/S er baseret på personlig kommunikation med driften.
- [3] **Slætgræs til biogasproduktion.** SEGES, Landbrugsinfo. Agrotek og Århus Universitet for SEGES. Se endvidere: **Analyse af slætgræs 2022**; SEGES, den 27. maj 2022. Tallene i tabellen er beregnet som gennemsnit af de forskellige forsøg med 2 og 3 slæt.
- [4] **Brug af halm i biogasanlæg.** Henrik B. Møller, m.fl. SEGES, Aarhus Universitet og Teknologisk Institut; rapport udarbejdet for Energistyrelsen, den 6. oktober 2022. Bilag 2, s. 79 »Råvareomkostninger ind i biogasanlæg« indeholder detaljerede oplysninger om en række biomasser, deres tørstofindhold og forventet gasudbytte for biomassernes organisk tørstofindhold. Udrådningsperioden for de angivne biomasser er dog ikke oplyst.
- [5] **Biogas baseret på halm og husdyrgødning - En teknisk-økonomisk analyse.** Aske Palsberg, RUC, december 2014. Se udrådningsforsøgene for halm og engrapgræs s. 58, hvor udrådningsperioden i begge tilfælde har været på 23 dage.
- [6] **Biomassehåndtering i Lejre Kommune. Slåning og opsamling af vejkanthusgræs;** Andreas Dyreborg Martin, Tobias Pape Thomsen og Tyge Kjær, Greater Bio, marts 2022, s. 28-32. Det anvendte tal i tabel 3 er beregnet som et gennemsnit af dansk og svensk vejkanthusgræs. Udrådningsforsøgene løb over 45 døgn; men allerede efter 25 døgn stabiliserede udrådningskurverne.
- [7] **Fleksibel kraft-varmeproduktion fra biogas, baseret på restbiomasser fra Landbruget.** Kurt Hjort-Gregersen, Søren Ugilt Larsen, Jørgen Pedersen; Teknologisk Institut og AgroTech, december 2017. Rapporten indeholder bl.a. en biogas potentialebestemmelser af roetoppe og ensilage bestående af en kombination af halm (20%) og roetoppe (80%). Her er anført dels metanudbyttet for roetoppene alene og for ensilagen. tallene er ekstraheret fra rapportens oplysninger. Der er betydelige fordele ved at fremstille en ensilage med halm og roetoppe, fordi halmen kan absorbere saften fra roetoppene, og øger metanudbyttet af halm og modvirker flydelagsdannelse (halm direkte indført i et biogasanlæg vil flyde ovenpå og kun omsættes i begrænset omfang. Se også Søren Ugilt Larsen: **Samensilering af halm og roetoppe (eller andre grønne biomasser) til biogas**; Halmseminar, Agro Business Park, 27. september 2017.

Miljøgræs, forskellige typer: Græs på naturarealer vil typisk være græs fra områder med ekstensiveret drift (ingen tilførsel fra kvælstof) med et betydeligt mindre græsudbytte pr. hektar. Der vil typisk være tre forskellige miljøgræsser, nemlig dels græs fra miljøvenlig jordbrugsforanstaltninger (MVJ), dels græs fra miljøfokusområder (MFO) og dels græs fra lavbundsområder, som forventes udbygget betydeligt i de kommende år med øget udtag af lavbundsjord. Tabel 3 viser især tre ting. For det **første** viser tabellen, at sen høst vil give et væsentligt større tørstofindhold (60% mod 25%), som betyder mere end én fordobbelte af metanudbytte pr. høstet tons. For det **andet** viser tabellen, at der vil være en betydelig stigende metanudbytte gevinst ved forbehandling af græs (her engrapgræs) med hammermølle, hvor driftsomkostningerne ved hammermøllen dog er så store, at de ikke opvejes af det større metanudbytte.

For det **tredje** viser tabellen, at forbehandling ikke i væsentligt grad øger udbyttet, idet ubehandlet frøgræshalm har et metanudbytte på 250 m³/tons tørstof, medens udbyttet for den forbehandlede frøgræshalm kun øges til 265 m³/tons tørstof. Det understreger, at den vigtigste effekt ved forbehandling er bidraget til en hurtigere udrådningsproces (jvf. figur 1) og dermed en reduktion af kapacitetsomkostningerne. Effekten er i mindre en forøgelse af det samlede metanudbytte.

Behandlet/ubehandlede halmafgroeder: Tallene her understreger samme tendens, som nævnt ovenfor, nemlig lille forskel i det akkumulerede metanudbytte for direkte og for forbehandlede halm. For tør halm er forskellen mellem 205 og 222 m³ metan/tons råvare, og for våd halm 146 og 160 m³ metan/tons råvare. Som det fremgår, er det organiske tørstofindhold meget højt for halm i sammenligning med andre biomasser, som gør de forskellige halmtyper til attraktive biomasser i biogasproduktionen.

Andre afgroeder: Dataerne viser, at man ved at lave en ensilage med 20% halm og 80% roetoppe kan fordoble udbyttet pr. tons råvarer. Der er flere fordele ved sam-ensilering. Udover øget metanbyttet, så undgår man også ressource tabet ved saftafløb. De indhøstede erfaringer kan meget vel også danne grundlag for udvikling og anvendelse af forskellige typer af sam-ensilering med græs, ikke mindst ved græs med høj væskeindhold (lav tørstofindhold).

5. Gasudbytte og opholdstiden

En vigtig udfordring er spørgsmålet om en optimal anvendelse af de forskellige biomasser, herunder en optimal anvendelse af de biomasser, som er velegnet til anvendelse i biogas. Der er to søjler, vi skal holde øje med i tabel 3, nemlig **søjle 7**, som viser metanudbyttet pr. tons råvarer, og **søjle 2**, som viser tørstofindholdet. Den gængse biogas teknologi med konstant omrøring vil ikke kunne fungere optimalt med et tørstofindhold meget over 12%, så vi skal også have fokus for væskeindholdet, som f.eks. kan opnås ved tilførsel af gylle og andre våde fraktioner.

Der er behov for væske, men selvfølgelig også for høje metanudbytte. Det sidste kan i meget høj grad opnås med en forbehandling af råvaren. For græs og halm ser det ud til at være en nødvendig betingelse. Forbehandlingen af råvarer afkorter udrådningstiden, men kan også bidrage til at reducere rest metanpotentialet i den biomasse, der pumpes ud, så restmetanen ikke frit udledes.

Af tabel 3 fremgår det, at den eksisterende anvendelse af halm i biogasanlæg over hele landet har fundet sted med et metanudbytte på 210,2 m³ metan/tons råvare. Dette tal er ikke langt fra det, der kan opnås ved forbehandling af de forskellige halmtyper. Så noget er allerede sket.